

PENGARUH WAKTU REAKSI DALAM SINTESIS BESI BERVALENSI NOL (ZVI) DARI FeSO_4 DENGAN EKSTRAK POLIFENOL KULIT PISANG KEPOK

Gilang Arif Pribadi, Setia Budi dan Yusmaniar

Program Studi Kimia FMIPA, Universitas Negeri Jakarta Jl. Pemuda No. 10, Rawamangun. Jakarta, Indonesia

Corresponding Author: gilangarifpribadi@yahoo.co.id

Abstrak

Besi bervalensi nol (ZVI) telah berhasil disintesis menggunakan ekstrak kulit pisang kepok sebagai reduktor alami. Analisis terhadap karakteristik ZVI hasil sintesis berupa ukuran, kristalinitas dan morfologi telah dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis, particle size analyzer (PSA), X-ray diffractometer (XRD), scanning electron microscope (SEM), dan fourier transform infra-red (FT-IR). Pengukuran konsentrasi Fe^{2+} yang bereaksi dengan ekstrak yang digunakan divariasikan terhadap waktu, yaitu: 0 jam, 3 jam, 24 jam, 48 jam dan 144 jam. Konsentrasi Fe^{2+} yang bereaksi dengan polifenol terbesar terjadi ketika waktu reaksi 3 jam, yaitu 110.465,22 ppm. Waktu reaksi 1 jam menghasilkan distribusi ukuran partikel yang paling rendah, yaitu $D_v 10 = 383,93 \text{ nm}$; $D_v 50 = 537,17 \text{ nm}$; dan $D_v 90 = 851,36 \text{ nm}$ dengan polydispersity Index (PDI) sebesar 0,1240. Difraksi sinar-X menunjukkan ZVI hasil sintesis merupakan amorf yang terdiri dari fasa iron dan magnetite dengan presentase masing-masing berturut-turut 17,5 % dan 82,5%.

Kata Kunci: Besi Bervalensi Nol (ZVI), Reduksi Garam Besi, Polifenol, Waktu Reaksi, D_v , PDI, Aglomerasi.

Abstract

Zero valent iron (ZVI) has been synthesized using banana peel extracts. Characterization of the obtained ZVI was carried out using UV-Vis spectrophotometer, particle size analyzer (PSA), X-ray diffractometer (XRD), scanning electron microscope (SEM), and fourier transform infra-red (FT-IR). Measurement of the concentration of Fe^{2+} reacted with the used extracts varied with respect to time, namely 0 hours, 3 hours, 24 hours, 48 hours and 144 hours. The concentration of Fe^{2+} which reacts with the largest polyphenols occur when reaction time of 3 hours, ie 110,465.22 ppm. Reaction time of 1 hour to produce a particle size distribution of the lowest, ie $D_v 10 = 383.93 \text{ nm}$; $D_v 50 = 537.17 \text{ nm}$; and $D_v 90 = 851.36 \text{ nm}$ with a polydispersity index (PDI) of 0.1240. X-ray diffraction showed that synthesized ZVI is an amorphous phase consisting of iron and magnetite with the percentage of each respectively 17.5% and 82.5%.

Keywords: Zero Valent Iron (ZVI), Reduction of Iron Salt, Polyphenols, Time Reaction, D_v , PDI, Agglomeration

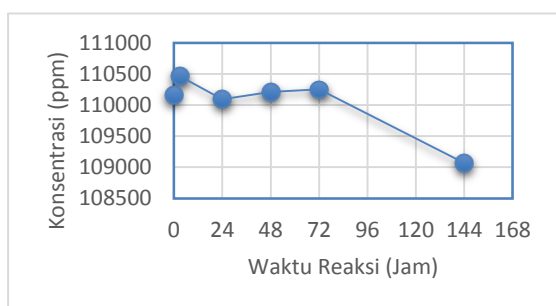
1. Pendahuluan

Limbah industri merupakan salah satu penyebab terjadinya pencemaran di lingkungan. Dalam beberapa tahun terakhir terjadi peningkatan logam berat yang dibuang ke lingkungan sebagai limbah industri [1]. Sejumlah teknologi yang memiliki kemampuan untuk proses remediasi atau pengolahan air telah digunakan, termasuk diantaranya: presipitasi kimia, koagulasi & flokulasi, pertukaran ion, pengolahan elektrokimia, dan adsorpsi. Adsorpsi dianggap sebagai salah satu metode terbaik untuk menghilangkan logam berat dari limbah industri karena kemudahan operasi, efisien, tidak menghasilkan polusi sekunder dan biaya operasionalnya yang relatif rendah [1]. ZVI merupakan suatu partikel besi

yang mempunyai struktur *core-shell* yang khas dimana intinya terdiri dari besi bervalensi nol dan pada bagian luarnya terdapat cangkang (*shell*) yang terdiri dari campuran oksida besi (II) dan (III) [2]. ZVI sebagai material mempunyai potensi untuk digunakan dalam pengolahan air [3]. ZVI dalam proses remediasi atau pengolahan air bertindak sebagai adsorben. ZVI berfungsi untuk menyerap berbagai kontaminan seperti: β -lactam dan Nitroimidazole, azo dyes, pestisida klorin, anion anorganik, logam alkali tanah dan logam transisi (Pb, Cr, Cu, Co, Ni dan Cd) [3].

Sintesis ZVI dapat dilakukan dengan metode reduksi garam besi. Metode ini didasarkan pada reaksi reduksi Fe^{2+} atau Fe^{3+} oleh garam natrium borohidrida (NaBH_4) [4].

Penggunaan garam natrium borohidrida sebagai reduktor ion Fe^{2+} mulai dikurangi karena tidak ramah lingkungan. Ekstrak polifenol dari tumbuhan telah dikembangkan sebagai reduktor dalam proses reduksi Fe^{2+} pada sintesis ZVI [3]. Ekstrak polifenol yang akan digunakan sebagai reduktor Fe^{2+} pada penelitian ini merupakan ekstrak polifenol yang diambil dari kulit pisang kepok. Kandungan polifenol per gram kulit pisang kering adalah 907 mg/100g sedangkan pada daging buah keringnya hanya 2.09 mg/100g [5].



Gambar 1 Grafik hubungan antara konsentrasi ZVI yang bereaksi dengan polifenol terhadap waktu reaksi

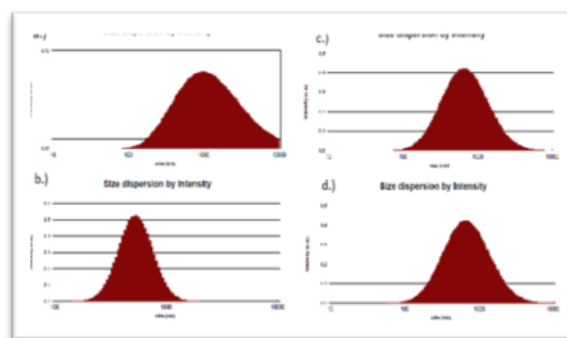
Sintesis ZVI juga dipengaruhi oleh beberapa hal, seperti pH [4], waktu reaksi, suhu dan konsentrasi prekursor. Penelitian ini difokuskan untuk mengetahui pengaruh waktu reaksi terhadap konsentrasi Fe^{2+} yang bereaksi dengan polifenol dan distribusi ukuran partikel ZVI yang dihasilkan. Hasil sintesis tersebut kemudian dikarakterisasi untuk mengetahui proses reaksi pembentukan ZVI, distribusi ukuran partikel ZVI dan memverifikasi ZVI hasil sintesis.

2. Metodologi Penelitian

A. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat-alat gelas (Pyrex), neraca analitik, *hotplate magnetic stirrer*, *rotary evaporator*, JSM-6510LA JEOL SEM, *Vasco Particle Size Analyzer* 2010 *Particulate Systems*, PANalytical Empyran XRD, FTIR Shimadzu IR-Prestige 21 dan Spektrofotometer UV-Vis mini Shimadzu

1240. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kulit pisang kepok, FeSO_4 , Aqua DM, Etil Asetat, H_2SO_4 dan Kloroform.



Gambar 2. Grafik particle size analyzer (PSA) berdasarkan intensitas, a.) Waktu Reaksi 0,5 jam; b.) Waktu Reaksi 1 Jam; c.) Waktu Reaksi 2 Jam; d.) Waktu Reaksi 3 jam

B. Prosedur Penelitian

1) Ekstraksi Polifenol dari Kulit Pisang Kepok

Kulit pisang dipotong kecil berbentuk kubus dan ditimbang 300 gram. Lalu, kulit pisang dididihkan dalam air dengan massa air 900 gram (perbandingan massa kulit pisang dengan massa air 1:3). Campuran air dan kulit pisang kemudian dipanaskan 90°C selama 5 menit. Setelah itu diblender kemudian dipanaskan kembali pada temperatur 80°C selama 2 jam. Campuran disaring dengan kain saring dan dilanjutkan dengan kertas saring no.1. Hasil penyaringan dipekatkan dengan *rotary evaporator* hingga volumenya berkurang setengah. Kemudian diekstraksi dengan kloroform dengan perbandingan volume 1:1, *dishaker* selama 30 menit dan kemudian dipisahkan fasa air dan fasa kloroformnya. Fasa airnya diambil dan diekstraksi kembali dengan etil asetat dengan perbandingan volume 1:1, *dishaker* selama 30 menit dan kemudian dipisahkan fasa air dan fasa etil asetatnya. Fasa etil asetatnya dikeringkan dengan *rotary evaporator*. Hasil pengeringan (polifenol) ditimbang kemudian dilarutkan dengan *aqua dm* [5]

2) Sintesis ZVI

Sintesis ZVI dilakukan dengan cara mereaksikan FeSO_4 dengan polifenol

menggunakan perbandingan komposisi tersebut yaitu 4:1 (mL). Reaksi tersebut dilakukan dengan *stirrer* pada kecepatan 250 rpm sesuai variasi waktu yang dilakukan. Optimasi waktu reaksi dilakukan dengan dua cara, yaitu:

1. Spektrofotometer UV-Vis;
2. *Particle Size Analyzer* (PSA).

Optimasi waktu reaksi dengan spektrofotometer UV-Vis bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu reaksi terhadap jumlah Fe^{2+} yang bereaksi dengan polifenol. Hal ini dilakukan dengan cara mereaksikan ZVI hasil sintesis dengan larutan pengkompleks o-fenantrolin. Larutan kompleks [Fe(fenantrolin)] tersebut kemudian diuji dengan spektrofotometer UV-Vis dengan memvariasikan waktu reaksi dalam beberapa variasi waktu, yaitu: 0 jam, 3 jam, 24 jam, 48 jam, 72 jam dan 144 jam.

Optimasi pengaruh waktu reaksi dengan PSA bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu reaksi terhadap distribusi ukuran partikel ZVI hasil sintesis. ZVI disintesis dengan memvariasikan waktu reaksi dalam beberapa variasi waktu reaksi, yaitu: 0,5 jam; 1 jam; 2 jam; dan 3 jam. ZVI hasil sintesis tersebut kemudian diuji dengan PSA untuk mengetahui distribusi ukuran partikel ZVI hasil sintesis.

3) Karakterisasi ZVI

Hasil sintesis ZVI kemudian dikarakterisasi dengan FT-IR, SEM dan XRD.

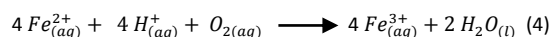
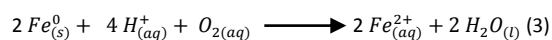
3. Results and Discussion/Hasil dan Pembahasan

a. Spektrofotometer UV-Visible

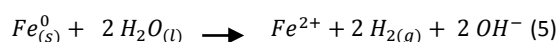
Analisis kuantitatif menggunakan spektrofotometer UV-Visible berfungsi untuk mengetahui pengaruh waktu reaksi terhadap banyaknya jumlah Fe^{2+} yang bereaksi. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan grafik hubungan konsentrasi Fe^{2+} yang bereaksi dengan polifenol terhadap waktu yaitu:

Berdasarkan grafik diatas terlihat bahwa konsentrasi Fe^{2+} yang paling banyak bereaksi yaitu ketika waktu reaksi 3 jam. Ketika waktu reaksi 3 jam, konsentrasi Fe^{2+} yang bereaksi dengan polifenol adalah 110465,22 ppm. Konsentrasi Fe^{2+} ketika waktu reaksi telah mencapai 3 jam lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi Fe^{2+} ketika waktu reaksi 0 jam. Hal ini disebabkan karena reaksi yang terjadi antara Fe^{2+} dengan polifenol belum sempurna sehingga konsentrasi Fe^{2+} yang bereaksi dengan polifenol ketika waktu reaksi 0 jam lebih rendah dibandingkan dengan waktu reaksi 3 jam. Konsentrasi Fe^{2+} yang bereaksi dengan polifenol relatif tidak terlalu mengalami perubahan yang signifikan pada setiap waktu pengukuran.

Hal ini menandakan bahwa ZVI yang dihasilkan dari proses sintesis ini cukup stabil. Tetapi, besi bervalensi nol sangat rentan teroksidasi dalam media berair dan temperatur yang tinggi [6]. Fe^0 akan teroksidasi menjadi Fe^{2+} (proses cepat) dan Fe^{3+} (proses lambat). Hal ini disebabkan karena oksigen terlarut dalam air dapat mempercepat terjadinya proses oksidasi dari Fe^0 menjadi Fe^{2+} . Selanjutnya, Fe^{2+} akan teroksidasi lebih lanjut secara lambat menjadi Fe^{3+} juga dibantu oleh oksigen terlarut yang ada dalam air [7]. Hal ini sesuai dengan persamaan reaksi berikut:



Selain itu, pada kondisi *anaerob* (tanpa oksigen), besi bervalensi nol juga dapat teroksidasi menjadi Fe^{2+} dengan menggunakan air sebagai oksidator dan menghasilkan molekul hidrogen [2].

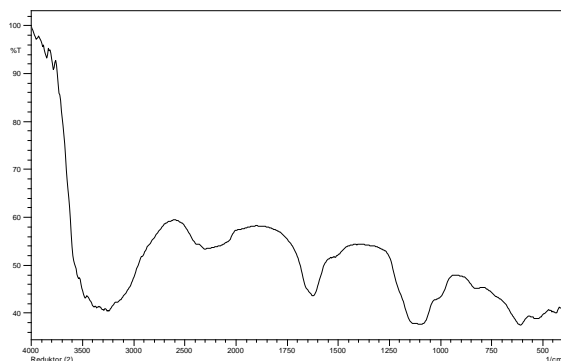


Rentan teroksidasinya besi bervalensi nol ini juga terlihat dari grafik diatas. Ketika waktu reaksi telah mencapai 24 jam, konsentrasi Fe^{2+}

Tabel 1. *Distribution width particle size analyzer (PSA)*

Cumulants Methode	Waktu Reaksi (Jam)			
	0,5	1	2	3
Dv 10 (nm)	708,13	338,93	389,15	338,93
Dv 50 (nm)	5371,74	537,17	813,05	851,36
Dv 90 (nm)	8513,64	851,36	2042,28	3389,34
PDI	1,8210	0,1240	0,3750	0,6000

yang bereaksi dengan polifenol lebih rendah dibandingkan ketika waktu reaksi mencapai 3 jam. Hal ini disebabkan karena telah teroksidasinya besi bervalensi nol yang berhasil disintesis menjadi ion Fe^{2+} kembali. Sehingga ketika direaksikan dengan reagensia orthofenantrolin menghasilkan nilai absorbansi yang lebih besar dibandingkan ketika waktu reaksi 3 jam. Hal ini disebabkan karena telah bertambahnya konsentrasi Fe^{2+} didalam larutan sampel ZVI akibat teroksidasinya Fe^0 menjadi Fe^{2+} .



Gambar 3. Spektrum FT-IR ZVI hasil sintesis

Ketika waktu reaksi 48 jam, konsentrasi Fe^{2+} yang bereaksi dengan polifenol sedikit meningkat jika dibandingkan dengan waktu reaksi 24 jam. Hal tersebut terus terjadi hingga waktu reaksi 72 jam, dimana terlihat pada grafik terjadi peningkatan konsentrasi Fe^{2+} yang bereaksi dengan polifenol dibandingkan ketika waktu reaksi 48 jam. Hal ini disebabkan karena

Fe^{2+} yang ada didalam larutan sampel ZVI dapat bereaksi kembali dengan sisa polifenol yang masih terdapat dalam larutan sampel. Oleh karena itu, konsentrasi Fe^{2+} yang bereaksi dengan polifenol meningkat ketika waktu reaksi 48 jam hingga 72 jam. Konsentrasi Fe^{2+} yang bereaksi dengan polifenol baru berkurang ketika waktu reaksi 144 jam.

b. Particle Size Analyzer (PSA)

Analisis kuantitatif menggunakan *particle size analyzer* (PSA) bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu reaksi terhadap distribusi ukuran partikel ZVI hasil sintesis. Selain itu, pengukuran dengan PSA juga bertujuan untuk mencari waktu reaksi maksimum yang menghasilkan distribusi ukuran partikel terendah dari ZVI hasil sintesis. Berdasarkan penelitian, didapatkan hasil pengukuran dengan PSA yaitu sebagai berikut:

Berdasarkan grafik distribusi partikel dan tabel *distribution width* terlihat bahwa waktu reaksi maksimum terjadi ketika waktu reaksi 1 jam. Berdasarkan hasil PSA waktu reaksi 1 jam menghasilkan distribusi ukuran partikel yang terendah jika dibandingkan dengan waktu reaksi 0,5 jam; 2 jam dan 3 jam. Pada waktu reaksi 1 jam, Dv 10 dan Dv 90 dari hasil PSA waktu reaksi 1 jam berturut-turut yaitu 338.93 nm dan 851.36 nm. Hasil ini berbeda cukup jauh dibandingkan dengan waktu reaksi 0,5 jam; 2 jam dan 3 jam. Perbedaan yang paling tinggi terjadi pada Dv 90 dimana pada waktu reaksi 1 jam, Dv 90 hanya 851.36 nm sedangkan pada waktu reaksi 0,5 jam; 2 jam dan 3 jam berturut-turut yaitu 8513.64 nm, 2042.28 nm dan 3389.34 nm.

Berdasarkan hasil penelitian, dapat diduga bahwa ketika waktu reaksi 0,5 jam, reaksi yang terjadi belum sempurna dimana pengadukan dengan *stirrer* tidak dapat menghomogenkan larutan suspensi sehingga pembentukan inti dan *cluster* belum berjalan sempurna. Pada waktu reaksi 1 jam, pembentukan dan pertumbuhan inti ZVI sudah berjalan lebih baik

dibandingkan dengan waktu reaksi 0.5 jam. Hal ini dapat terlihat dari nilai Dv_{10} , Dv_{50} dan Dv_{90} pada waktu reaksi 1 jam yang menghasilkan distribusi ukuran partikel yang jauh lebih rendah dibandingkan waktu reaksi 0.5 jam. Sedangkan pada waktu reaksi 2 jam dan 3 jam, waktu reaksi diduga sudah terlalu lama sehingga inti ZVI yang terbentuk, telah tumbuh cukup besar dan dimungkinkan telah terjadi aglomerasi antar inti sehingga dihasilkan distribusi ukuran partikel yang lebih besar dibandingkan ketika waktu reaksi 1 jam.

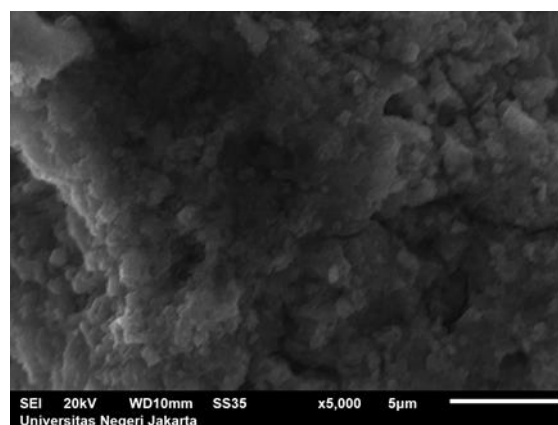
Selain itu, pada waktu reaksi 1 jam juga menghasilkan PDI (*polydispersity index*) terkecil yaitu 0.1240, sedangkan pada waktu reaksi 0,5 jam; 2 jam dan 3 jam berturut-turut menghasilkan PDI sebesar 1.8210, 0.3750, dan 0.6000. PDI ini merupakan tingkat kehomogenitasan partikel dalam suatu suspensi. Semakin rendah nilai PDI maka semakin homogen distribusi ukuran partikel dalam suatu suspensi. Oleh karena itu, waktu reaksi 1 jam merupakan waktu reaksi optimum dalam pengukuran menggunakan PSA karena mempunyai PDI yang paling rendah yaitu 0.1240 sehingga perbedaan ukuran tiap partikel didalam suspensi tersebut tidak terlalu berbeda jauh.

c. Fourier Transform Infrared (FT-IR)

Analisis kualitatif dengan menggunakan FT-IR bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada ZVI hasil sintesis. Berdasarkan hasil pengujian ZVI hasil sintesis dengan FT-IR didapatkan spektrum sebagai berikut:

Berdasarkan spektrum diatas dapat dilihat bahwa terdapat puncak-puncak yang lebar dengan intensitas yang tinggi. Puncak yang lebar tersebut diakibatkan karena terdapatnya molekul anorganik didalam sampel. Pada bilangan gelombang $3260,80\text{ cm}^{-1}$ terdapat puncak lebar dengan intensitas tinggi. Puncak tersebut menunjukkan adanya gugus hidroksil (-OH). Gugus hidroksil ini berasal dari polifenol yang masih tersisa dan tidak bereaksi dengan

Fe^{2+} untuk membentuk partikel ZVI. Terdapat puncak dengan intensitas tinggi pada bilangan gelombang $1624,13\text{ cm}^{-1}$. Puncak tersebut menandakan adanya ikatan *stretching* C-C aromatik. Pada bilangan gelombang $1094,65\text{ cm}^{-1}$ terdapat puncak lebar dengan intensitas tinggi. Puncak tersebut menandakan adanya gugus Fe-O [8]. Gugus Fe-O tersebut menandakan adanya produk korosi dari besi. Hal ini mengindikasikan adanya keberadaan presipitat besi oksida dengan terdapatnya puncak yang menunjukkan ikatan *stretching* Fe-O [9]. Terbentuknya Fe-O tersebut disebabkan karena mudah teroksidasinya ZVI dalam larutan berair. ZVI tersebut teroksidasi menjadi besi (II) dan besi (III) oksida yang kemudian menyelimuti ZVI yang berada dibagian inti dengan membentuk struktur *core-shell* [6].

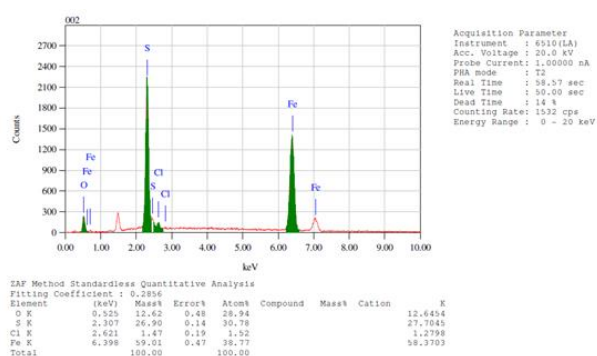


Gambar 4. Pencitraan SEM ZVI hasil sintesis

d. Scanning Electron Microscope (SEM)

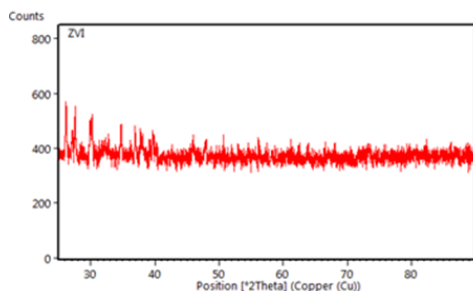
Morfologi ZVI hasil sintesis diamati dengan menggunakan *scanning electron microscope* (SEM). Berdasarkan pengujian dengan SEM didapatkan hasil sebagai berikut:

Gambar 4 Memberikan informasi mengenai morfologi dari ZVI hasil sintesis. Berdasarkan data yang diperoleh terlihat bahwa hasil SEM tersebut menunjukkan adanya gumpalan besar yang tersusun atas butiran yang berbentuk bulat seperti bola-bola yang saling menumpuk hingga membentuk sebuah gumpalan besar. Morfologi partikel ZVI berbentuk bola-bola kecil yang tersusun secara teratur dan dapat teragregat menjadi seperti rantai [10].



Gambar 5. Grafik EDS ZVI hasil sintesis

Perbedaan ini disebabkan karena telah teraglomerasinya partikel ZVI hasil sintesis. Adanya interaksi magnetik antara partikel-partikel kecil yang sebagian besar berbentuk bola dapat menyebabkan terjadinya aglomerasi [9].



Gambar 6. Pola Difraksi ZVI hasil sintesis

Berdasarkan data EDS yang diperoleh, dapat diketahui bahwa terdapat atom oksigen dalam jumlah yang cukup besar. Hal ini menandakan bahwa ZVI hasil sintesis tidak murni dan dimungkinkan terdapat besi (II) maupun besi (III) oksida. Adanya besi (II) dan besi (III) oksida disebabkan karena mudah teroksidasinya partikel ZVI dalam larutan berair [7]. Dalam data tersebut juga terdapat atom S dengan jumlah yang cukup besar. Hal ini kemungkinan disebabkan karena adanya FeSO_4 yang tidak bereaksi dengan polifenol. Selain itu, terdapat pengotor seperti Cl dalam data EDS ZVI hasil sintesis. Dilakukan pengujian dengan menggunakan *X-Ray Diffractometer* (XRD) terhadap ZVI hasil sintesis. XRD digunakan untuk mengetahui struktur kristalinitas dalam partikel. XRD *pattern* diamati pada $2\theta = 20^\circ - 90^\circ$. Hal ini disebabkan karena pada jarak 2θ tersebut telah menjangkau seluruh spesi utama

dari besi dan besi oksida [10]. Hasil karakterisasi sampel dengan XRD menunjukkan pola difraksi yang khas. Pola difraksi yang dihasilkan mempunyai beberapa puncak yang tinggi dan sedikit lebar. Hal ini menandakan bahwa ZVI hasil sintesis berbentuk amorf [4]. Berdasarkan pola difraksi tersebut, dilakukan analisis data menggunakan software *HighScore Plus* untuk mengetahui fasa kristal dari ZVI hasil sintesis. Fasa kristal yang didapatkan dari kristal ZVI hasil sintesis yaitu Iron dan Magnetite dengan presentase berturut-turut yaitu 17,5 % dan 82,5 % dengan nilai *goodness of fit* saat *fitting* yaitu sebesar 2.49685 dan *weighted R profile* sebesar 7,98046.

Terdapatnya 2 fasa tersebut disebabkan karena telah teroksidasinya ZVI hasil sintesis menjadi besi oksidanya. Hal ini dikarenakan ZVI mudah teroksidasi dalam larutan berair dan temperatur yang tinggi [6]. Akan tetapi masih terdapat partikel ZVI dalam jumlah yang rendah didalam sampel. Hal ini dapat ditunjukkan dengan adanya *peak* pada $2\theta = 45^\circ$. Karakteristik puncak yang lebar pada $2\theta = 45^\circ$ dapat mengindikasikan bahwa terdapat partikel ZVI dalam sampel [10].

4. Kesimpulan

ZVI telah berhasil disintesis dari garam besi (FeSO_4) dengan menggunakan reduktor alami polifenol yang berasal dari ekstrak kulit pisang kepok. Konsentrasi Fe^{2+} yang bereaksi dengan polifenol terbesar yaitu ketika waktu reaksi 3 jam, yaitu 110465,22 ppm. Distribusi ukuran partikel yang paling rendah terjadi ketika waktu reaksi 1 jam, yaitu $Dv_{10} = 338,93 \text{ nm}$; $Dv_{50} = 537,17 \text{ nm}$; dan $Dv_{90} = 851,36$ serta $PDI = 0,1240$. ZVI hasil sintesis mempunyai 2 fasa kristal, yaitu: iron dan magnetite dengan presentase berturut-turut yaitu 17,5 % dan 82,5 %.

Penghargaan

Penelitian ini didanai oleh Universitas Negeri Jakarta melalui Hibah Penelitian dengan nomor: 05/SP2H/PL/DIT.LITABMAS/IV/2015

Daftar Pustaka

- [1] Zhang, F., Repo, E., Yin, D., Sillanpaa, M.E.T. 2013. Adsorption of Cd(II) and Pb(II) by a Novel EGTA-Modified Chitosan Material: Kinetics and Isotherms. *Journal of Colloid and Interface Science*, 409, 174-182.
- [2] Li, X. Q., Brown, G. D., & Zhang, W. X. 2007. Stabilization of biosolids with nanoscale zero-valent iron (nZVI). *Journal of Nanoparticle Research*, 233-243.
- [3] Crane, R.A., Scott, T.B. 2012. Review : Nanoscale Zero-Valent Iron: Future Prospect for An Emerging Water Treatment Technology. *Journal of Hazardous Material*, 211-212, 112-125.
- [4] Sun, Y. P., Li, X. Q., Zhang, W. X., & Wang, H. P. 2007. A Method for the Preparation of Stable Dispersion. *Colloids and Surfaces A*, 60-66.
- [5] Someya, S., Yoshiki, Y., Okubo, K. 2002. Antioxidant Compounds From Bananas (*Musa Cavendish*). *Food Chemistry*, 351-354.
- [6] Kharisov, B. I., Dias, H. V. R., Kharissova, O. V., Perez, V. M.J., Perez, B.O. 2012. *Iron-Containing Nanomaterials: Synthesis, Properties, and Environmental Application*.
- [7] Tosco, T., Papini, M.P., Viggi, C.C., Sethi, R. 2014. Nanoscale Zero Valent Iron Particles for Groundwater Remediation: a review. *Journal of Cleaner Production*. 1-12.
- [8] Rao, P., Mak, M.S.H., Liu, T., Lai, K.C.K., Lo, I.M.C. 2008. *Effects of Humic Acid on Arsenic (V) Removal by Zero-Valent Iron from Groundwater with Special References to Corrosion Product Analyses*.
- [9] Zha, S., Cheng, Y., Gao, Y., Chen, Z., Megharaj, M., Naidu, R., 2014. Nanoscale Zero-Valent Iron as a Catalyst for Heterogenous Fenton Oxidation of Amoxicilin. *Chemical Engineering Journal*, 255, 141-148.
- [10] Prabu, D., Parthiban, R. 2013. Synthesis and Characterization of Nanoscale Zero Valent Iron (NZVI) Nanoparticles for Environmental Remediation.